

(1) Japanese Patent Application Laid-Open No. 08-136555 (1996)

**“CONDUCTIVE CANTILEVER FOR COMPOUND MICROSCOPE AND
MANUFACTURING METHOD THEREOF”**

The following is an English translation of an extract of the above application.

5

First, a metal film is formed on an insulating film and etched using photolithography so that it has a predetermined width, and then only a narrow portion of a point is left as a protrusion. Metal portions other than the protrusion is further covered with the insulating film. In case of a cantilever having a probe, a lower end of the probe is
10 flattened in order that the probe has its height of more than 500 nm. Even if the contact pressure of a sample and the cantilever changes, an electrode area of the cantilever does not change.

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	F I
G01N 37/00	A	
	F	
	H	
G01B 7/34	Z	
11/30	102	Z

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全6頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平6-298999

(22)出願日 平成6年(1994)11月7日

(71)出願人 000003942

日新電機株式会社

京都府京都市右京区梅津高畝町47番地

(72)発明者 川見 浩

京都府京都市右京区梅津高畝町47番地日新
電機株式会社内

(72)発明者 林 司

京都府京都市右京区梅津高畝町47番地日新
電機株式会社内

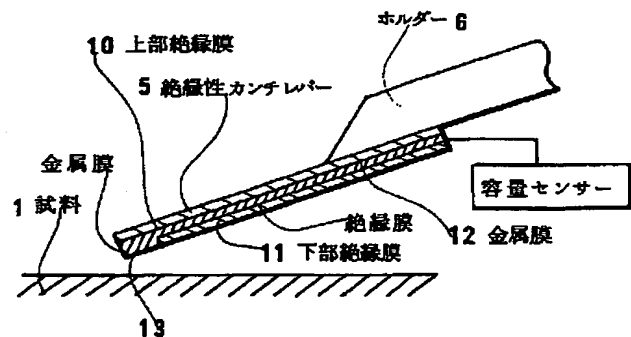
(74)代理人 弁理士 川瀬 茂樹

(54)【発明の名称】複合顕微鏡の導電性カンチレバーとその製造方法

(57)【要約】

【目的】 原子間力顕微鏡と静電容量顕微鏡を合体した顕微鏡を作ろうとすると、センサ部分に導電性のカンチレバーを必要とする。カンチレバーの先端下部に探針を設け、探針と試料との間の静電容量を検出する。しかしカンチレバーの下面の全体を金属にすると、カンチレバーと試料の間の接触圧の変化によって、カンチレバーの電極面積が変動する。試料とカンチレバーの間の静電容量を測定しても、試料表面の電荷、空乏層の状態が分からない。カンチレバーの電極としての面積を一義的に決定することが本発明の目的である。

【構成】 絶縁膜の上に金属膜を形成し、金属膜をフォトリソグラフィによって一定の深さになるようにエッチングし、先端部の狭い部分だけを突起として残す。突起以外の金属部分は、さらに絶縁膜によって覆う。探針を持つカンチレバーの場合は、探針の下端を平坦にし、探針の高さを500nm以上にする。試料とカンチレバーの接触圧が変動しても、カンチレバーの電極面積は変わらない。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも走査型静電容量顕微鏡と原子間力顕微鏡の機能を合体した複合顕微鏡のカンチレバーであって、先端部と後端部とをつなぐ金属層が存在し、試料に対向する先端の一部分のみ下面に金属部分が露出してあり、他の部分は下面が絶縁体によって覆われている事を特徴とする複合顕微鏡の導電性カンチレバー。

【請求項 2】 少なくとも走査型静電容量顕微鏡と原子間力顕微鏡の機能を合体した複合顕微鏡のカンチレバーであって、先端部と後端部とをつなぐ金属層が存在し、先端部には探針が設けられ、探針の下面が平坦であって、探針の高さが 500 nm 以上であることを特徴とする複合顕微鏡の導電性カンチレバー。

【請求項 3】 少なくとも走査型静電容量顕微鏡と原子間力顕微鏡の機能を合体した複合顕微鏡のカンチレバーを製造する方法であって、絶縁体の上に金属膜を形成し、フォトリソグラフィによって、先端部のみを残して他の金属部分を一定の深さにエッチングし、先端に狭い面積の突起を形成し、他の金属部分には絶縁膜を被覆して、絶縁膜が先端の突起と同じであるか僅かに低くなるように形成したことを特徴とする複合顕微鏡の導電性カンチレバーの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は複合顕微鏡のセンサ部として利用される導電性のカンチレバーとその製造方法に関する。ここで複合顕微鏡というのは、次の 3 種類の顕微鏡を合体したものである。走査型トンネル顕微鏡 (STM)、原子間力顕微鏡 (AFM)、走査型静電容量顕微鏡 (SCAM) の 3 種類である。これら 3 つの顕微鏡の機能を結合し、1 台の顕微鏡により、試料の様々な性質、特性を調べる事ができるようにしたものである。しかし本発明で直接に関係するのは、原子間力顕微鏡と静電容量顕微鏡の二つである。

【0002】 走査型トンネル顕微鏡 (STM) は、尖った探針を試料に数 nm の程度に近づけ試料と探針の間に電圧を印加し、試料と探針の間に流れるトンネル電流を測定し、試料表面の微細な形状や、電子状態を観測する。電流を一定値に保持するようにすれば、試料表面の凹凸の状態を原子レベルで観察する事ができる。検出部は、探針である。鋭く短い金属の針である。撓む事はない。探針は圧電素子に取り付けられており、上下 (Z 方向)、水平方向 (XY) に動く事ができる。試料と探針の間隔は、0.5 nm ~ 1.5 nm の程度である。トンネル電流は数 nA の程度である。試料を相対移動させて、試料表面の形状を調べるので走査型というのである。

【0003】 走査型静電容量顕微鏡 (SCAM) は、導電性の探針を試料に接近させ、探針と試料表面の電荷との間で形成される静電容量を測定し、試料表面の静電容

量分布を検出するものである。これもセンサ部は、金属の短い探針である。撓む必要はない。試料面に垂直に電流を流す事ができるから、探針の他の部分と試料の間に生ずる静電容量は小さくする事ができる。原理図を図 2 に示す。試料 1 に微細な探針 2 を接近させ、試料 1 と探針 2 の間にバイアス電源 4 によってバイアス電圧を印加し、探針 2 と試料 1 の間の静電容量を容量センサ 3 によって測定する。

【0004】 原子間力顕微鏡 (AFM) は、絶縁性の撓み易い部材を試料に接近させ、この部材と試料原子の間に働く原子間力による部材の撓みを光学的或いは静電的に検出するものである。かたもちばりであり、よく撓むので、この部材をカンチレバーと呼ぶ。カンチレバーは絶縁性で撓み易いのが条件である。Si、N、SiO₂、Si 等のヤング率の低い材料の薄膜を用いる。カンチレバーは、板バネとも、バネともいう。探針を試料表面に接近させると、試料原子とカンチレバーの先端の原子との間に原子間力が生じる。カンチレバーの撓みによりこの力を測定する。

【0005】 電気的な機構を用いないので、カンチレバーは絶縁性でよいのである。カンチレバーの撓みは、レーザ光を当てて反射する光の変位を受光素子によって検出して求める。AFM の原理図を図 1 に示す。カンチレバー 5 は長細く撓み易い絶縁体である。カンチレバーの先端には探針 2 が取り付けられてあり、後端がホルダー 6 に取り付けられる。レーザ 7 から光がカンチレバー 5 の上面に照射され、反射光が検出器 8 に入射する。検出器は分割された受光素子より成り、カンチレバーが撓むと反射光の分布が異なるから、受光素子の出力からカンチレバーの撓みが分かる。カンチレバーの撓み量は試料表面の凹凸を反映するので、検出器の出力によって、試料の原子単位での凹凸を知ることができる。

【0006】

【従来の技術】 これら 3 つの顕微鏡は別々の目的と構造を持つものである。本発明者はこれらの三者を一体に結合した複合顕微鏡を提案している。この場合、試料に対向し試料の状態を検知するものは、探針とカンチレバーの 2 種類がある。複合顕微鏡とするには、両者の性質を兼ね備える必要がある。そこで本発明者は、カンチレバーの先に短い探針を取り付けた構造のものをセンサに採用する事にした。原子間力顕微鏡は、電気的な測定でなく、絶縁体であるカンチレバーの撓みを検出する。これは光学的に検出する。ところが静電容量と、トンネル電流の場合は、いずれも電気的な信号を必要とする。静電容量を測定するには、高周波電圧を印加して探針、試料間の容量を検出する。トンネル電流の場合は、探針と試料の間に直流電圧を印加して僅かなトンネル電流を測定する。

【0007】 このためにカンチレバーが電気を通すようにしなければならない。カンチレバーの全体を金属にす

る事が考えられよう。しかしそうすると、剛性が高くなり過ぎて容易に撓まなくなる。そこで主体を絶縁体として、一部に金属膜を被覆し、導電性にする。こうして原子間力によって撓み、電気を流すことができるようなカンチレバーを得る。

【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】導電性のカンチレバーというものは、これまでになかったものである。静電容量顕微鏡を原子間力顕微鏡に結合するために初めて必要性が発生したのである。しかし、単に絶縁体の一部を金属によって被覆すれば良いというようなものでない。

【 0 0 0 9 】カンチレバーは長い棒状の部材であるが、これを金属にすると剛性が過大になる。表面の一部のみを金属層にするという必要がある。底面の全部を金属層とすると、次の問題がある。ふたつの電極の間の静電容量は、その電極表面積に比例し、距離に反比例する。カンチレバーと試料表面原子との接触圧が増え、カンチレバーと試料の接触面積が増大する。反対に接触圧が減ると、カンチレバーと試料の接触面積が減少する。もしもカンチレバーの底面に一様に金属膜が被覆してあるとすれば、接触圧力により、試料とカンチレバー金属の接触面積が変化する。つまり平行平板コンデンサとみなす場合、電極面積が変動するということである。

【 0 0 1 0 】試料とカンチレバーの間の静電容量を測定しても、これが正確に試料の電荷状態を反映しない。カンチレバーの接触部（電極）の面積が変動しているからである。静電容量顕微鏡は、例えば半導体の空乏層の厚みなどを測定するために用いられる。これは電極間の距離を変数として距離を測定しているのである。ところが電極面積が変動してしまうので、距離が分からなくなる。図 8、9 によって説明する。図 8 は試料とカンチレバーの間の接触圧が小さい場合である。この場合は、カンチレバーの撓みが小さくて、接触圧が小さい。そのために、接触面積も狭くなる。すると静電容量を測定した場合、その値が小さく出る。電極面積が狭くなっているからである。図 9 は試料とカンチレバーの間の接触圧が大きい場合である。この場合はカンチレバーの撓みが大きくなり、接触面積が増える。静電容量を測定した場合、その値が大きくなる。

【 0 0 1 1 】このように、実効的な電極面積が原子間力の変化によって異なる。実効的な電極面積が異なると、静電容量の測定が、試料の電荷状態を正しく反映しなくなる。これは困る。原子間力顕微鏡と静電容量顕微鏡の機能を合体させるからこのようなことが起こったのである。このような難点を克服し、カンチレバーの撓みによって、実効的な電極面積が変わらないようにしたカンチレバー構造を提供することが本発明の目的である。つまり原子間力の変動により、撓みが変わっても、電極として機能する部分の面積が不変であるようにしたカンチレバー構造を提案する。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】本発明のカンチレバーは撓みやすい材料によってできており、先端部と後端部とをつなぐ金属層が存在し、試料に対向する先端の一部分のみ下面に金属部分が露出しており、他の部分は下面が絶縁体によって覆われている事を特徴とする。

【 0 0 1 3 】

【作用】カンチレバー先端の、極一部のみに金属が露出している。残りの部分は、絶縁膜によって覆われている。このために、カンチレバーの電極面積が明確に決まる。つまりカンチレバーと試料の間に電圧を印加した時、カンチレバー側の電極面積が一義的に確定する。カンチレバーの撓みによって面積が変わるということはない。従って試料とカンチレバーの間の静電容量から、試料の荷電状態を確実に求めることができる。静電容量から、試料の誘電率、空乏層の厚みなどを原子サイズの精度で求めることができる。また同時に、原子間力顕微鏡として用いる事もできるのは言うまでもない。

【 0 0 1 4 】

【実施例】

【実施例 1】 探針のないカンチレバーの場合について説明する。図 3、図 4 によって本発明の実施例を説明する。カンチレバー 5 は、細長い撓みやすい部材である。上層部は絶縁膜 1 0 になっている。下層部も絶縁膜 1 1 になっている上部絶縁膜 1 0 と、下部絶縁膜 1 1 の間に、金属膜 1 2 が挟まれた状態で存在する。絶縁膜 1 0、1 1 は、撓みやすい絶縁膜である。これは例えば、 SiO_2 、 Si 、 Si_3N_4 、などで作ることができる。金属膜は Ir 、 Ti などである。このカンチレバー 5 は先端に三角形の尖端部 1 4 を持つ。この尖端部 1 4 のさらに先端に、金属膜の露出部 1 3 がある。

【 0 0 1 5 】これは図 4 に示すように、扇形をしている。これは中心角が 45 度～120 度程度の扇形である。半径は目的によって決める。例えば、5 nm～100 nm とする。この例では半径を 10 nm とする。このような突起は、現在のフォトリソグラフィによって形成することができる。下部絶縁膜 1 1 の厚みは 0.01 μm ～10 μm である。例えば 0.1 μm である。下部絶縁膜も上記の、 SiO_2 、 Si 、 Si_3N_4 、などで作ることができる。実際には、このように小さいカンチレバー一つ一つをフォトリソグラフィによって作るというのは現実的ではない。

【 0 0 1 6 】絶縁膜の大きいウエハの上に、多数のカンチレバーをウエハプロセスによって同時に作る。この後、適当な分割線に沿って、単位のカンチレバーを切り出す。切り出しの際に、先端に高い突起があると、切り難いというのであれば、先端より少し後退した位置に突起を設けるようにする。先端は絶縁膜によって覆うようにする。この部分を切断線にする。更にこのカンチレバーは、先端金属露出部 1 3 と面一になるよう、下部絶縁

膜 1 1 が形成されている。

【0017】下面は従って平坦になっている。金属膜だけが突出しているのではない。このカンチレバー 5 の後端はホルダー 6 によって支持される。カンチレバー 5 と試料の間には、バイアス電圧が印加されており、カンチレバーと試料間の静電容量が測定される。この時、カンチレバーの実効的な電極の面積は、先端金属露出部 1 3 によって決定される。カンチレバーが強く試料に押し付けられても、弱く接触しても同じ面積を維持する。カンチレバーの電極面積が接触の状態によらない。

【0018】金属は薄くてカンチレバーの撓みを妨げない。絶縁膜は、電極面積を正確に限定する。ここで絶縁膜によって覆われた金属が、静電容量に寄与しないという事を簡単に述べる。試料とカンチレバーの間に電流を流すなら、絶縁膜によって覆った部分が全く伝導に寄与しないのは明らかである。しかしここで問題にするのは静電容量の測定である。印加するのは交流電圧である。絶縁膜であっても交流電圧は通す。試料とカンチレバーが接触していると、金属との接触においては、試料の誘電率が容量を決める。

【0019】絶縁膜 1 1 が接触している部分については、試料の誘電率の他に絶縁膜の誘電率とその厚みが、容量を決める。カンチレバー全体の容量は、部分容量の和によって与えられる。部分容量は、部分面積に誘電率を掛けて、電極間距離によって割ったものである。下部絶縁膜 1 1 の厚みが大きいから、これら部分の静電容量が小さいのである。

【0020】こうなるには、下部絶縁膜の厚みが、試料の表面の絶縁層の厚みよりも、ずっと大きいという条件が必要である。先述のように、下部絶縁膜は 0.1 μm の程度の厚みを持つので、試料の表面の絶縁膜より厚いのである。従って下部絶縁膜によって覆われた部分の金属層は静電容量に殆ど寄与しない。従って、先端金属露出部 1 3 のみが電極として機能するのである。

【0021】【実施例 2】 図 5 と図 6 によって第 2 の実施例を説明する。このカンチレバーは、上部絶縁膜 1 5 と、中間金属膜 1 6、下部絶縁膜 1 7、ガード電極 1 8 よりなる 4 層を重ねた構造になっている。前例に比べると、下面に金属のガード電極が追加されているということで異なっている。先端に金属膜 1 9 が露呈している点も同じである。尖端分が三角形になっていることも同じである。金属層が 2 層になるが剛性が高くなり過ぎないような工夫が必要である。中間金属膜 1 6 は容量センサに接続される。

【0022】ガード電極 1 8 は接地される。ガード電極 1 8 は中間金属膜 1 6 の殆ど全体を覆う。覆われた部分は、大地との間に固定容量を生成する。これによって中間金属膜はシールドされたことになる。試料との間には殆ど容量を持たなくなる。従って、先端金属露出部 1 9 のみが試料との間の電極として機能する。前例は下部絶

縁膜によって、中間金属層が電極として作用するのを防いでいた。この例はさらにシールド膜（ガード電極）を絶縁膜の上に被覆することによって中間金属膜が試料との間に形成する静電容量を減らしている。以上に述べた例は、カンチレバーのみであって、探針のないものであった。

【0023】【実施例 3】 本発明はもちろん探針を有するカンチレバーにも適用できる。この場合は、探針自体が突出しているから、電極部分の面積を限定するのはより容易になる。図 7 にその例を示す。これは金属製のカンチレバーの下面に円錐形の突起を形成したものである。実際には、突起はフォトリソグラフィによって形成する。金属板にレジストを塗布し、突起部分を描いたマスクを乗せて露光し、現像して、突起以外の部分を適当な深さになるようにエッチングする。この突起は下端の直径が 200 nm である。目的により、50 nm ~ 500 nm とすればよい。高さは 500 nm ~ 10000 nm (0.5 μm ~ 10 μm) である。ある程度の高さがないと、他の金属部分が電極として機能する可能性がある。

【0024】これは全体が金属によって形成される。しかし絶縁体の上に金属層を形成し、金属層に上記のフォトリソグラフィを行い、突起だけを残すようにしてもよい。その場合は金属と絶縁膜の複合体になる。

【0025】

【発明の効果】 少なくとも一部が導電性のカンチレバーにより、原子間力顕微鏡、静電容量顕微鏡のセンサ部分を形成することができる。本発明は、カンチレバーの先端の一部分のみを突出した金属部分として、電極面積を明確にしている。試料とカンチレバーの間の静電容量を測定する際、電極面積が不変になる。カンチレバー側のコンデンサとしての電極面積が一定するから、静電容量の値から、試料の電荷、空乏層、伝導状態などを定量的に求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】原子間力顕微鏡の測定原理図。

【図 2】静電容量顕微鏡の測定原理図。

【図 3】本発明の第 1 の実施例であるカンチレバーの縦断面図。

【図 4】図 3 のカンチレバーの先端部のみの底面図。

【図 5】本発明の第 2 の実施例であるカンチレバーの縦断面図。

【図 6】図 5 のカンチレバーの先端部のみの底面図。

【図 7】本発明の第 3 の実施例であるカンチレバーの底面方向斜視図。

【図 8】下面全体が金属よりなるカンチレバーにおいて、カンチレバーにかかる力が弱い時には、カンチレバーの試料との接触面積が小さく実効電極面積の狭いことを示す説明図。

【図 9】下面全体が金属よりなるカンチレバーにおい

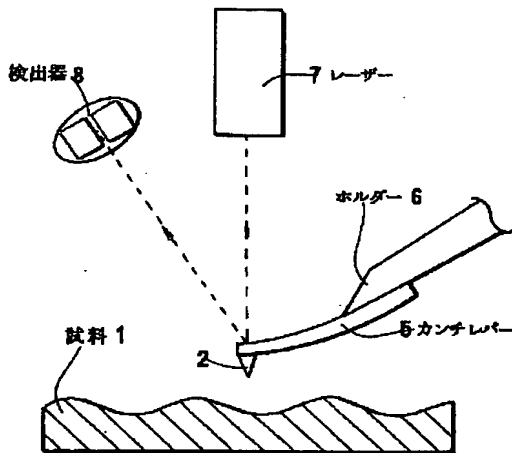
て、カンチレバーにかかる力が強い時には、カンチレバーの試料との接触面積が大きく実効電極面積の広いことを示す説明図。

【符号の説明】

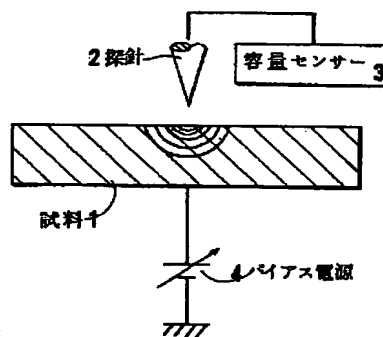
- 1 試料
- 2 探針
- 3 容量センサ
- 4 バイアス電源
- 5 カンチレバー
- 6ホルダー
- 7 レーザ
- 8 検出器
- 10 上部絶縁膜

- 11 下部絶縁膜
- 12 金属膜
- 13 先端金属露出部
- 14 尖端部
- 15 上部絶縁膜
- 16 中間金属膜
- 17 下部絶縁膜
- 18 ガード電極
- 19 先端金属露出部
- 10 20 絶縁部分
- 21 金属カンチレバー
- 22 探針
- 23 探針の下端

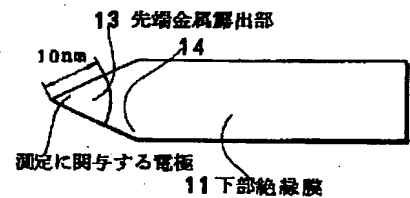
【図 1】



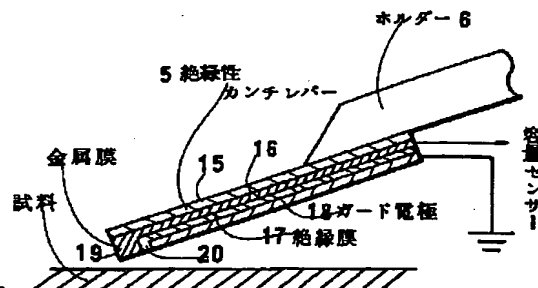
【図 2】



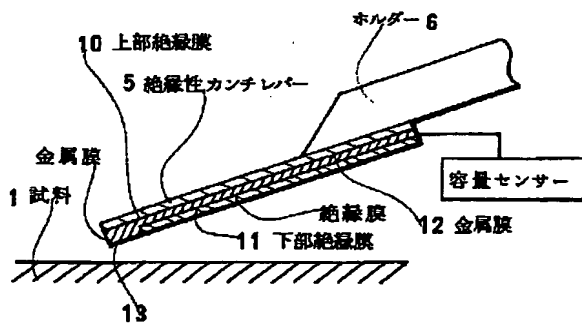
【図 4】



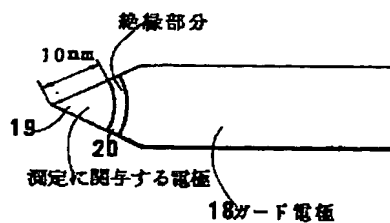
【図 5】



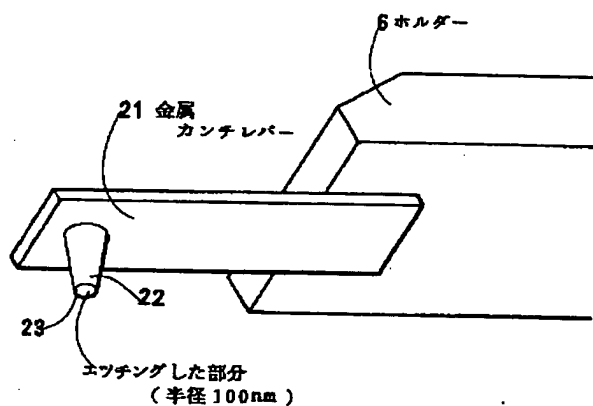
【図 3】



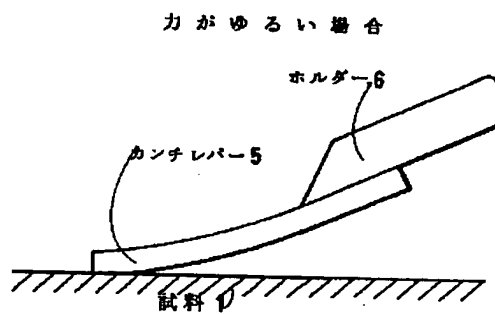
【図 6】



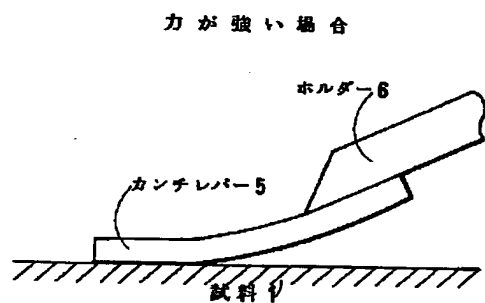
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

21/30
H01J 37/28
H01L 21/66

識別記号

Z
Z
B 7735-4M

F I